

法政大学学術機関リポジトリ
HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

曲線テーパ導波路を用いた偏波分離変換器

著者	藤村 峻也
出版者	法政大学大学院理工学・工学研究科
雑誌名	法政大学大学院紀要．理工学・工学研究科編
巻	57
発行年	2016-03-24
URL	http://hdl.handle.net/10114/13005

曲線テーパ導波路を用いた偏波分離変換器

A POLARIZATION SPLITTER AND CONVERTER USING A CURVILINEARLY TAPERED WAVEGUIDE

藤村 峻也

Shunya FUJIMURA

指導教員 山内 潤治

法政大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修士課程

A curvilinearly tapered waveguide is introduced to improve the characteristics of a polarization splitter and converter, whose characteristics are investigated by the beam-propagation method. To achieve a splitter and converter with a short device length, a conventional linearly tapered core is transformed into a curvilinearly tapered one. The transformed structure achieves both crosstalk and extinction ratio of less than -15 dB over a wide wavelength range of 1.33 μm to 1.7 μm with a quarter device length, compared with a conventional structure based on the linearly tapered core.

Key Words : Polarization splitter and converter, Curvilinear taper, Beam-propagation method

1. はじめに

光回路の小型化を実現する方法として、光導波路の比屈折率差を大きくし、光波を狭い領域に閉じ込める方法がある。しかし、比屈折率差の大きい光導波路を利用した光回路では、偏波依存によって特性差を生じる問題がある。

この問題を解決する方法に、偏波ダイバーシチスキームの利用がある [1]。偏波ダイバーシチ集積回路の構成においては、TE, TM 偏波を分離、変換できる偏波分離変換素子が必要不可欠である。偏波分離変換素子には、短いデバイス長でかつ広い波長帯域にわたり動作させるという要求があり、これらを満たしたデバイスの開発が望まれている。

このような要求を満たす素子として、直線テーパ導波路を利用した偏波分離素子 [2] と偏波変換素子 [3] を直列に接続した偏波分離変換器 [4] が提案されている。文献 [4] で提案された構造は、広い波長帯域に渡り高効率を達成するものの、800 μm の長いデバイス長を要していた。

本稿の目的は、直線テーパに代わり、曲線テーパ [5] を導入することで、デバイス長を短縮した導波路型偏波分離変換器を提案することにある [6][7]。解析には、電界と磁界に基づく、パワー保存型フルベクトルビーム伝搬法 [8] を用いる。提案する素子は、従来の 1/4 に短縮されたデバイス長で高効率に動作すること明らかにする。

2. 本論

構造の全体図を図 1 に示す。SiO₂ 基板上に Si₃N₄ のコア層を積層し、偏波分離素子と偏波変換素子を直列に接続している。本稿では、従来直線テーパ化されていたコア層を、曲線テーパ形状に変える。偏波分離素子と偏波変換素子のコア

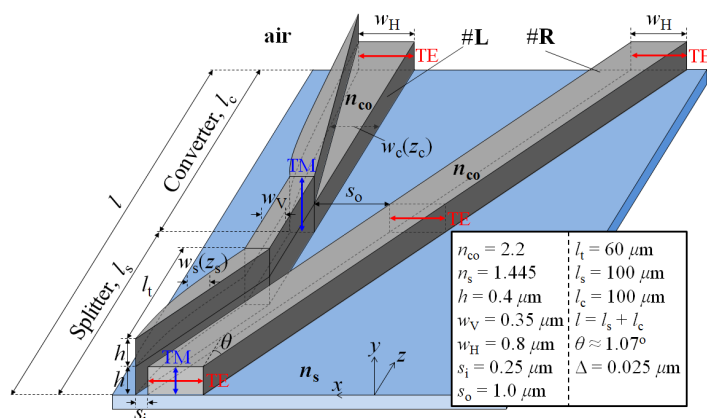


図 1 構造

幅 $w_s(z_s)$, $w_c(z_c)$ はそれぞれ以下の式で表現される [6]。

$$w_s(z_s) = w_v \left(\frac{z_s}{l_t} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (1)$$

$$w_c(z_c) = w_v + (w_H - w_v) \left(\frac{z_c}{l_c} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

ここで、 z_s , z_c は、それぞれ偏波分離素子、偏波変換素子におけるテーパ部の軸距離を示している。さらに、従来 $l = 800 \mu\text{m}$ ($l_s = 416 \mu\text{m}$, $l_c = 384 \mu\text{m}$) であったデバイス長を $l = 200 \mu\text{m}$ ($l_s = 100 \mu\text{m}$, $l_c = 100 \mu\text{m}$) に短縮する。解析には、電界と磁界に基づく、パワー保存型フルベクトルビーム伝搬法 [8] を使用し、参照屈折率を伝搬ステップごとに更新する。

本デバイスに TE 波が入力されると、導波路#R からそのまま TE 波が出力される。他方、TM 波が入力されると、前段の偏波分離素子によって波が導波路#L に結合し、更に後段の偏波変換素子によって TE 波に変換される。結果として、入力された偏波に依存することなく TE 波の出力を得る。

図 2 に、波長 $1.35 \mu\text{m}$ の TM 波を入射したときの導波モードパワーを示す。導波モードパワーは、伝搬界と導波路#L の出力端における TE 波の固有モード界との重なり積分から算出される。文献 [4] の構造では、図に示されるように、出力端でおよそ 96% の導波モードパワーを得る。直線テーパ形状を維持したまま $l_s = l_c = 100 \mu\text{m}$ に短縮すると、導波モードパワーは 50% 程度に留まる。

短軸長で滑らかにモード変換を実現するためには、曲線テーパの導入が効果的である。図 2 の赤線は、本稿で提案する構造の導波モードパワーを示している。導波路を曲線テーパ化し、TM 波への再変換を抑制するために導波路#L の上部コアを $z > 181 \mu\text{m}$ で取り除くと、 $l_s = l_c = 100 \mu\text{m}$ の場合に出力端で得られる導波モードパワーは 97% まで改善する。これは、文献 [4] の構造で得られる偏波変換効率よりも寧ろ高い。

図 3 に、TM 波を入射した場合の導波路間クロストークと、消光比の波長特性を示す。図より、本構造は、 $l = 200 \mu\text{m}$ で $1.33 \mu\text{m}$ から $1.7 \mu\text{m}$ の広い帯域で、-15 dB 以下のクロストークと消光比を達成することが見出せる。図示しないが、TE 波を入射した場合、導波路#L への結合は無視できるほど小さく、同波長帯域で、クロストーク、消光比ともに -15 dB 以下となる。

3. むすび

導波路型偏波分離変換器に、曲線テーパ形状を導入することで、デバイスを小型化できることを BPM 解析により明らかにした。提案した構造は、直線テーパを用いた従来構造の $1/4$ のデバイス長で、波長 $1.33 \mu\text{m}$ から $1.7 \mu\text{m}$ の広帯域に渡り、消光比、クロストークともに -15 dB 以下の性能で動作することを明らかにした。

参考文献

- 1) T. Barwicz, M. R. Watts, M. A. Popović, P. T. Rakich, L. Socci, F. X. Kärtner, E. P. Ippen, and H. I. Smith, "Polarization-transparent microphotonic devices in the strong confinement limit," *Nature Photon.*, vol. 1, no. 1, pp. 57-60, Jan. 2007.
- 2) M. R. Watts, H. A. Haus, and E. P. Ippen, "Integrated mode-evolution-based polarization splitter," *Opt. Lett.*, vol. 30, no. 9, pp. 967-969, May 2005.
- 3) M. R. Watts, and H. A. Haus, "Integrated mode-evolution-based polarization rotators," *Opt. Lett.*, vol. 30, no. 2, pp. 138-140, Jan. 2005.
- 4) M. R. Watts, M. Qi, T. Barwicz, L. Socci, P. T. Rakich, E. P. Ippen, H. I. Smith, and H. A. Haus, "Towards integrated polarization diversity: design, fabrication, and characterization of integrated polarization splitters and rotators," in *Optical Fiber Communications Conf.*, PDP11, Mar. 2005.
- 5) Y. Nito, J. Shibayama, J. Yamauchi, and H. Nakano, "Full-vectorial beam-propagation methods based on a fundamen-

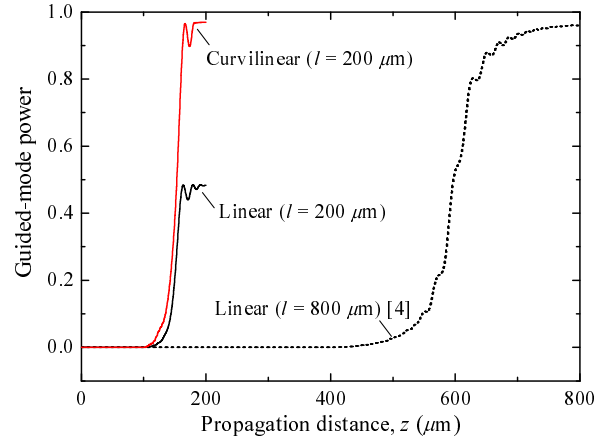


図 2 導波モードパワー (TM 波入射)

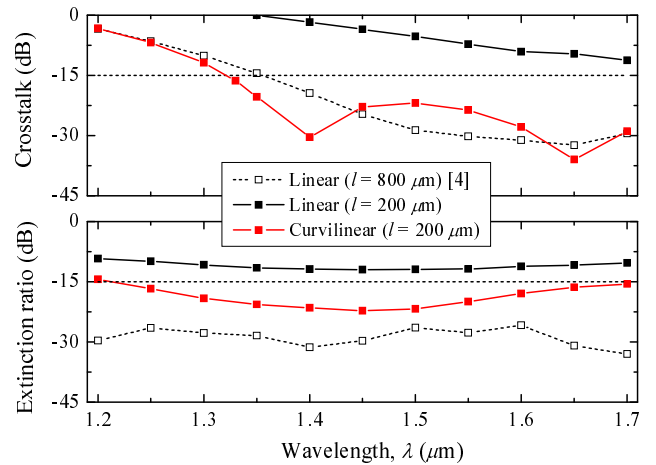


図 3 波長特性 (TM 波入射)

tal scheme—Design of a short polarization converter," *J. Lightw. Technol.*, vol. 32, no. 21, pp. 4111-4118, Nov. 2014.

- 6) 藤村 峻也, 仁藤 雄大, 山内 潤治, 中野 久松, "曲線テーパ導波路を用いた偏波分離変換器," 信学技報, OPE2015-92, pp. 5-10, 2015.
- 7) Y. Nito, S. Fujimura, J. Yamauchi, and H. Nakano, "A polarization converter using a curvilinearly tapered waveguide," *Optical Wave and Waveguide Theory and Numerical Modelling*, p. 87, Apr. 2015.
- 8) Y. Nito, T. Oda, S. Takase, J. Yamauchi, and H. Nakano, "A beam-propagation method using both electric and magnetic fields," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 23, no. 7, pp. 429-431, Apr. 2011.